

A12



JP2001266163

Biblio

Page 1

Drawing

**ON-VEHICLE IMAGE PROCESSOR**

Patent Number: JP2001266163

Publication date: 2001-09-28

Inventor(s): TAKAHAMA MIGAKU; MATSUMOTO SHINJI; KIMURA TAKESHI;  
TOYODA HIROMITSU

Applicant(s): NISSAN MOTOR CO LTD

Requested Patent: ☐ JP2001266163Application  
Number: JP20000075785 20000317

Priority Number(s):

IPC Classification: G06T7/60; B60R16/02; B60R21/00; G06T1/00

EC Classification:

Equivalents:

**Abstract**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To calculate the horizontal displacement, the yaw angle of a vehicle and the curvature of a road with only a small delay from an actual value while minimizing the unstable factors of the result of white line detection included in image processing.

**SOLUTION:** A picked up image in the periphery of the vehicle is processed to calculate physical quantities expressing the relationship between the vehicle and the road, and on the basis of physical quantities except for the physical quantity being a smoothing object, the variation of the physical quantities of a smoothing object is predicted. Then, in accordance with the predictive variation rate of the physical quantities being the smoothing object, the frequency characteristics of a variable characteristic type digital filter are changed and the physical quantity being the smoothing object is smoothed by using the variable characteristic type digital filter. Thus, even when the result of the white line detection by image processing becomes unstable, the frequency characteristics of the variable characteristic type digital filter can be changed in real time in accordance with the traveling state of the vehicle. Then, stable physical quantities can be obtained by minimizing the unstable factors of the result of the white line detection included in image processing.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-266163

(P2001-266163A)

(43) 公開日 平成13年9月28日 (2001.9.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 6 T 7/60	2 0 0	G 0 6 T 7/60	2 0 0 J 5 B 0 5 7
	1 5 0		1 5 0 G 5 H 1 8 0
B 6 0 R 16/02	6 4 0	B 6 0 R 16/02	6 4 0 J 5 L 0 9 6
21/00	6 2 4	21/00	6 2 4 F
			6 2 4 C

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 16 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-75785(P2000-75785)

(22) 出願日 平成12年3月17日 (2000.3.17)

(71) 出願人 000003997

日産自動車株式会社

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地

(72) 発明者 高浜 ▼琢▲

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

(72) 発明者 松本 真次

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

(74) 代理人 100084412

弁理士 永井 冬紀

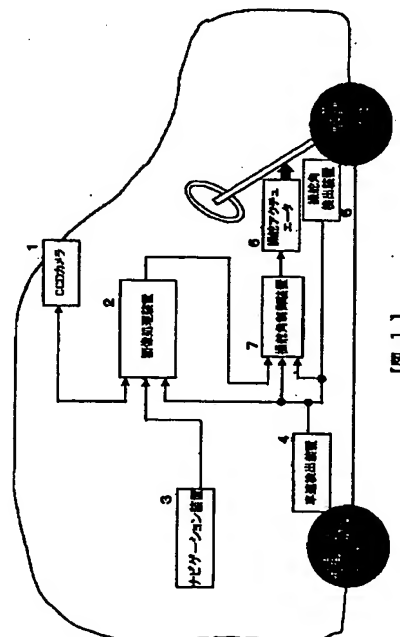
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 車両用画像処理装置

(57) 【要約】

【課題】 画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両の横変位とヨー角および道路の曲率を演算する。

【解決手段】 車両周辺の撮像画像を処理して車両と道路との関係を表す物理量を演算し、平滑化対象の物理量以外の物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測する。そして、平滑化対象の物理量の予測変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、その可変特性型デジタルフィルターを用いて平滑化対象の物理量を平滑化する。これにより、画像処理による白線検出結果が不安定になっても、車両の走行状態に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性をリアルタイムに変更することができ、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制して安定な物理量を得ることができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】車両に搭載されて車両周辺を撮像する撮像手段と、

撮像画像を処理して車両と道路との関係を表す物理量を演算する画像処理手段と、

可変特性型デジタルフィルターを用いて画像処理による演算結果の物理量の内のいずれかを平滑化する平滑化手段と、

平滑化対象の物理量以外の物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測する変化率予測手段と、

平滑化対象の物理量の予測変化率に応じて前記可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更する特性変更手段とを備えることを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項2】請求項1に記載の車両用画像処理装置において、

前記特性変更手段は、平滑化対象の物理量の予測変化率が大きいほど前記可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を高周波数側に変更することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項3】請求項1または請求項2に記載の車両用画像処理装置において、

前記画像処理手段により演算され、前記平滑化手段により平滑化対象とされる物理量には、車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ 、および道路の曲率 $r$ が含まれることを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項4】請求項1～3のいずれかの項に記載の車両用画像処理装置において、

前記変化率予測手段は、画像処理によらずに検出した車両の状態を表す物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項5】請求項4に記載の車両用画像処理装置において、

画像処理によらずに検出した車両の状態を表す物理量には、車速、操舵角検出値、操舵角指令値、ナビゲーション装置から得た道路の曲率が含まれることを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項6】請求項1～3のいずれかの項に記載の車両用画像処理装置において、

前記変化率予測手段は、平滑化対象の物理量以外の前記平滑化手段により平滑化した物理量に基づいて、平滑化対象の物理量の変化率を予測することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項7】請求項1または請求項2に記載の車両用画像処理装置において、

前記画像処理手段は、撮像画像を処理して車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、

前記変化率予測手段は、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ と画像処理によらずに検出した車速とに基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を予測し、

前記特性変更手段は、前記可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を横変位変化率 $dh/dt$ に応じて変更し、前記平滑化手段は、画像処理による演算結果の横変位 $h$ を前記可変特性型デジタルフィルターにより平滑化することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項8】請求項1または請求項2に記載の車両用画像処理装置において、

前記画像処理手段は撮像画像を処理して車両のヨー角 $\phi$ を演算し、

前記変化率予測手段は、画像処理によらずに検出した車速と操舵角指令値とに基づいてヨー角 $\phi$ の変化率 $d\phi/dt$ を予測し、

前記特性変更手段は、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ に応じて前記可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、前記平滑化手段は、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ を前記可変特性型デジタルフィルターにより平滑化することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項9】請求項8に記載の車両用画像処理装置において、

前記変化率予測手段は、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を求め、

前記特性変更手段は、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に応じて前記可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項10】請求項8または請求項9に記載の車両用画像処理装置において、

前記画像処理手段は、撮像画像を処理してヨー角 $\phi$ の他に道路の曲率 $r$ を演算し、

前記変化率予測手段は、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ またはその平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を道路曲率 $r$ により補正することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項11】請求項1または請求項2に記載の車両用画像処理装置において、

前記画像処理手段は撮像画像を処理して道路の曲率 $r$ を演算し、

前記変化率予測手段は、ナビゲーション装置から得た道路の曲率に基づいて曲率 $r$ の変化率 $dr/dt$ を予測し、

前記特性変更手段は、曲率変化率 $dr/dt$ に応じて前記可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、前記平滑化手段は、画像処理による演算結果の道路の曲率 $r$ を前記可変特性型デジタルフィルターにより平滑化することを特徴とする車両用画像処理装置。

【請求項12】請求項1または請求項2に記載の車両用画像処理装置において、

前記画像処理手段は撮像画像を処理して車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、

前記変化率予測手段は、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ を平滑化し、平滑化したヨー角 $\phi$ に基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を推定し、

前記特性変更手段は、横変位変化率 $dh/dt$ に応じて前記

可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、前記平滑化手段は、画像処理による演算結果の車両の横変位 $h$ を前記可変特性型デジタルフィルターにより平滑化することを特徴とする車両用画像処理装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、車両前方の撮像画像を処理して道路の白線を検出し、白線検出結果に基づいて車両の横変位とヨー角、および道路の曲率を検出する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】車両前方の画像を撮像し、撮像画像を処理して道路の白線を検出し、白線検出結果に基づいて車両の横変位とヨー角、および道路の曲率を演算する車両用画像処理装置が知られている（例えば、特開平11-296660号公報参照）。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】ところで、車両前方を撮像した画像には、白線自体が不鮮明または欠落していたり、車両の振動、道路の凹凸やアップダウンなどにより白線が検出できなかったり、撮像画像にノイズが混入したりして、白線検出結果が不安定になることがあり、そのような不安定な白線検出結果に基づいて車両の横変位とヨー角、および道路の曲率を演算すると、それらの物理量も変動するという問題がある。

【0004】そこで、演算結果の車両の横変位とヨー角、および道路の曲率にローパスフィルター処理を施し、それらの物理量を平滑化することが考えられる。

【0005】しかし、演算結果の物理量にローパスフィルター処理を施して平滑化すると、車両の挙動変化が激しくなったときにフィルター処理後の物理量が実際の値より遅れるという問題がある。また、このような遅れをなくすためにローパスフィルターの折れ点角周波数を大きくし、フィルターの周波数特性を高周波数側に変更すると、遅れは小さくなるが逆に不安定な白線検出結果の影響を受けやすくなるという問題がある。

【0006】本発明の目的は、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両の横変位とヨー角および道路の曲率を演算することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】一実施の形態の構成を示す図1に対応づけて本発明を説明すると、

(1) 請求項1の発明は、車両に搭載されて車両周辺を撮像する撮像手段1と、撮像画像を処理して車両と道路との関係を表す物理量を演算する画像処理手段2と、可変特性型デジタルフィルターを用いて画像処理による演算結果の物理量の内のいずれかを平滑化する平滑化手段2と、平滑化対象の物理量以外の物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測する変化率予測手段2

と、平滑化対象の物理量の予測変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更する特性変更手段2とを備え、これにより上記目的を達成する。

(2) 請求項2の車両用画像処理装置は、特性変更手段2によって、平滑化対象の物理量の予測変化率が大きいほど可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を高周波数側に変更するようにしたものである。

(3) 請求項3の車両用画像処理装置では、画像処理手段2により演算され、平滑化手段2により平滑化対象とされる物理量に、車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ 、および道路の曲率 $r$ が含まれる。

(4) 請求項4の車両用画像処理装置は、変化率予測手段2によって、画像処理によらずに検出した車両の状態を表す物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測するようにしたものである。

(5) 請求項5の車両用画像処理装置では、画像処理によらずに検出した車両の状態を表す物理量に、車速、操舵角検出値、操舵角指令値、ナビゲーション装置3から得た道路の曲率が含まれる。

(6) 請求項6の車両用画像処理装置は、変化率予測手段2によって、平滑化対象の物理量以外の平滑化手段2により平滑化した物理量に基づいて、平滑化対象の物理量の変化率を予測するようにしたものである。

(7) 請求項7の車両用画像処理装置は、画像処理手段2によって、撮像画像を処理して車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、変化率予測手段2によって、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ と画像処理によらずに検出した車速とに基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を予測し、特性変更手段2によって、可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を横変位変化率 $dh/dt$ に応じて変更し、平滑化手段2によって、画像処理による演算結果の横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化するようにしたものである。

(8) 請求項8の車両用画像処理装置は、画像処理手段2によって撮像画像を処理して車両のヨー角 $\phi$ を演算し、変化率予測手段2によって、画像処理によらずに検出した車速と操舵角指令値とに基づいてヨー角 $\phi$ の変化率 $d\phi/dt$ を予測し、特性変更手段2によって、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、平滑化手段2によって、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化するようにしたものである。

(9) 請求項9の車両用画像処理装置は、変化率予測手段2によって、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を求め、特性変更手段2によって、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更するようにしたものである。

(10) 請求項10の車両用画像処理装置は、画像処理手段2によって撮像画像を処理してヨー角 $\phi$ の他に道路の曲率 $r$ を演算し、変化率予測手段2によって、ヨー

角変化率 $d\phi/dt$ またはその平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を道路曲率 $r$ により補正するようにしたものである。

(11) 請求項11の車両用画像処理装置は、画像処理手段2によって撮像画像を処理して道路の曲率 $r$ を演算し、変化率予測手段2によって、ナビゲーション装置3から得た道路の曲率に基づいて曲率 $r$ の変化率 $dr/dt$ を予測し、特性変更手段2によって、曲率変化率 $dr/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、平滑化手段2によって、画像処理による演算結果の道路の曲率 $r$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化するようにしたものである。

(12) 請求項12の車両用画像処理装置は、画像処理手段2によって撮像画像を処理して車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、変化率予測手段2によって、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ を平滑化し、平滑化したヨー角 $\phi$ に基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を推定し、特性変更手段2によって、横変位変化率 $dh/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、平滑化手段2によって、画像処理による演算結果の車両の横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化するようにしたものである。

【0008】上述した課題を解決するための手段の項では、説明を分かりやすくするために一実施の形態の図を用いたが、これにより本発明が一実施の形態に限定されるものではない。

【0009】

【発明の効果】(1) 請求項1の発明によれば、車両周辺の撮像画像を処理して車両と道路との関係を表す物理量を演算し、平滑化対象の物理量以外の物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測する。そして、平滑化対象の物理量の予測変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、その可変特性型デジタルフィルターを用いて平滑化対象の物理量を平滑化するようにしたので、白線自体が不鮮明または欠落していたり、車両の振動、道路の凹凸やアップダウンなどにより白線が検出できなかったり、撮像画像にノイズが混入したりして、白線検出結果が不安定になっても、このような車両の走行状態に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性をリアルタイムに変更することができ、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制して安定な物理量を得ることができる。

(2) 請求項2の発明によれば、平滑化対象の物理量の予測変化率が大きいほど可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を高周波数側に変更するようにしたので、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない物理量を得ることができる。

(3) 請求項3の発明によれば、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両の横変位とヨー角、お

び道路の曲率を得ることができる。

(4) 請求項4および請求項5の発明によれば、画像処理によらずに検出した車両の状態を表す物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測するようにしたので、変化率予測結果には画像処理による不安定な白線検出結果の影響が含まれず、正確な変化率予測結果を得ることができ、実際の値から遅れの少ない安定な物理量を得ることができる。

(5) 請求項6の発明によれば、平滑化対象の物理量以外の平滑化手段により平滑化した物理量に基づいて、平滑化対象の物理量の変化率を予測するようにしたので、変化率予測結果に含まれる画像処理による不安定な白線検出結果の影響が抑制され、正確な変化率予測結果を得ることができ、実際の値から遅れの少ない安定な物理量を得ることができる。

(6) 請求項7の発明によれば、撮像画像を処理して車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ と画像処理によらずに検出した車速とに基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を予測し、可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を横変位変化率 $dh/dt$ に応じて変更し、その可変特性型デジタルフィルターによって画像処理による演算結果の横変位 $h$ を平滑化するようにしたので、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両の横変位を得ることができる。

(7) 請求項8の発明によれば、撮像画像を処理して車両のヨー角 $\phi$ を演算し、画像処理によらずに検出した車速と操舵角指令値とに基づいてヨー角 $\phi$ の変化率 $d\phi/dt$ を予測し、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、その可変特性型デジタルフィルターによって画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ を平滑化するようにしたので、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両のヨー角を得ることができる。

(8) 請求項9の発明によれば、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を求め、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更するようにしたので、請求項8の上記効果に加え、さらに正確で安定したヨー角を得ることができる。

(9) 請求項10の発明によれば、撮像画像を処理してヨー角 $\phi$ の他に道路の曲率 $r$ を演算し、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ またはその平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を道路曲率 $r$ により補正するようにしたので、請求項8の上記効果に加え、さらに正確で安定したヨー角を得ることができる。

(10) 請求項11の発明によれば、撮像画像を処理して道路の曲率 $r$ を演算し、ナビゲーション装置から得た道路の曲率に基づいて曲率 $r$ の変化率 $dr/dt$ を予測し、曲率変化率 $dr/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィ

ルターの周波数特性を変更し、その可変特性型デジタルフィルターによって画像処理による演算結果の道路の曲率 $r$ を平滑化するようにしたので、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない道路の曲率を得ることができる。

(11) 請求項12の発明によれば、撮像画像を処理して車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ を平滑化し、平滑化したヨー角 $\phi$ に基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を推定し、横変位変化率 $dh/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更し、その可変特性型デジタルフィルターによって画像処理による演算結果の車両の横変位 $h$ を平滑化するようにしたので、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両の横変位を得ることができる。

【0010】

【発明の実施の形態】《発明の第1の実施の形態》図1は第1の実施の形態の構成を示す図である。CCDカメラ1は車両の前方を撮像する撮像装置である。画像処理装置2はマイクロコンピュータとメモリなどの周辺部品から構成され、CCDカメラ1による撮像画像を処理して車両の横変位 $H$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $R$ を求める。すなわち、撮像画像を処理して道路の白線を検出し、白線検出結果に基づいて車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ 、および道路の曲率 $r$ を演算し、さらにそれらを可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して車両の横変位 $H$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $R$ を求める。

【0011】この実施の形態で用いる可変特性型デジタルフィルターには、ローパスフィルターの折れ点角周波数を変えてフィルターの周波数特性を任意に変更可能な可変特性型デジタルローパスフィルターか、または、バンドパスフィルターの高周波数側の折れ点角周波数を変えてフィルターの周波数特性を任意に変更可能な可変特性型デジタルバンドパスフィルターを用いる。いずれのフィルターもこの明細書では単に可変特性型デジタルフィルターと呼ぶ。

【0012】この明細書ではまた、車両の横変位 $h$ とそれをデジタルフィルターにより平滑化した値 $H$ 、ヨー角 $\phi$ とそれをデジタルフィルターにより平滑化した値 $\Phi$ 、および道路の曲率 $r$ とそれをデジタルフィルターにより平滑化した値 $R$ を、車両と道路との関係を表す物理量と呼ぶ。

【0013】画像処理装置2にはナビゲーション装置3、車速検出装置4および操舵角検出装置5が接続される。ナビゲーション装置3は、衛星航法および自立航法により車両の位置と進行方向を検出する。このナビゲーション装置3には道路地図データを記憶するメモリが内蔵されており、任意の地点の道路の曲率 $R_N$ などの情報を提供することができる。また、車速検出装置4は自車

の車速 $v_{sp}$ を検出し、操舵角検出装置5は前輪の操舵角 $\theta$ を検出する。操舵アクチュエーター6は前輪を駆動して転舵を行う。

【0014】この明細書では、車速 $v_{sp}$ と操舵角 $\theta$ を車両の状態を表す物理量と呼ぶ。これらの車両の状態を表す物理量は、画像処理によらず専用の検出装置により検出した物理量であり、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因の影響のない物理量である。

【0015】操舵角制御装置7は、画像処理装置2により演算された車両の横変位 $H$ とヨー角 $\Phi$ 、道路の曲率 $R$ 、車速検出装置4により検出された車速 $v_{sp}$ などに基づいて操舵角指令値 $\theta_r$ を求め、操舵角検出装置5から実際の操舵角 $\theta$ をフィードバックして操舵アクチュエーター6を制御し、車両が走行レーン内を走行するように操舵角 $\theta$ を制御する、いわゆるレーンキープ制御を行う。

【0016】なお、この実施の形態では本発明の車両用画像処理装置をレーンキープ制御装置に応用した例を示すが、本発明の車両用画像処理装置はレーンキープ制御装置のみに限定されず、例えば走行レーンからの逸脱を警報する車線逸脱警報装置などにも応用することができる。

【0017】《画像処理による演算結果の車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ の平滑化の概要》長い直線路をまっすぐに走行しているときの車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ について考える。このような走行条件下では、演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ が急に変化するようなことはないが、白線の不鮮明や欠落、車両の振動、道路の凹凸やアップダウン、画像信号へのノイズの混入などが起因して画像処理による白線検出結果が不安定になり、それにともなって演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ が変動することがある。

【0018】そこで、この実施の形態では、画像処理による演算結果の車両と道路との関係を表す物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ にフィルター処理を施して平滑化し、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制する。

【0019】しかしながら、上述したように車両の挙動変化が激しくなると画像処理による白線検出結果の変動が急激になると、フィルター処理後の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ が実際の値から遅れを生じる。このような遅れをなくするためにフィルターの高周波数側の折れ点角周波数を大きくし、フィルターの周波数特性を高周波数側に変更すると、遅れは小さくなるが逆に画像処理による不安定な白線検出結果の影響を受けやすくなってしまふ。

【0020】そこで、この実施の形態では、平滑化対象の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の変化率 $dh/dt$ 、 $d\phi/dt$ 、 $dr/dt$ を求め、これらの平滑化対象の物理量の変化の急激さ、すなわち変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更する。つまり、平滑化対象の物理量の



変化率が大きくなるほどデジタルフィルターの周波数特性を高周波数側へ変更し、平滑化した物理量の真値からの遅れを少なくする。逆に、平滑化対象の物理量の変化率が小さくなるほどデジタルフィルターの周波数特性を低周波数側へ変更し、画像処理による不安定な白線検出結果の影響を最少限に抑制する。

【0021】ところが、平滑化対象の物理量の変化率 $dh/dt$ 、 $d\phi/dt$ 、 $dr/dt$ を、画像処理による演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ から求めると、それらの物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ には画像処理による不安定な白線検出結果の影響が含まれているため、その影響により変化率 $dh/dt$ 、 $d\phi/dt$ 、 $dr/dt$ も不安定に変動してしまい、可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を正しく変更することができない。

【0022】そこで、この実施の形態では、画像処理による演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の内のいずれか、例えば横変位 $h$ に可変特性型デジタルフィルターによる処理を施して平滑化する場合に、横変位 $h$ 以外の画像処理による演算結果の物理量 $\phi$ 、 $r$ や、車速 $v_{sp}$ や操舵角 $\theta$ などの画像処理によらずに検出した車両状態を表す物理量や、ナビゲーション装置3により検出した道路の曲率 $R$ などに基づいて横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を予測し、横変位 $h$ の予測変化率 $dh/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変更する。

【0023】このような車両と道路との関係を表す物理量の変化率予測方法によれば、物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の内の例えば横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を、画像処理結果の横変位 $h$ を用いずに、横変位 $h$ 以外の物理量 $\phi$ 、 $r$ 、 $v_{sp}$ 、 $\theta$ 、 $R$ などを用いて予測するので、画像処理による白線検出結果の不安定要因が最少限に抑制され、横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を正確に予測することができる。ここでは、画像処理による演算結果の車両の横変位 $h$ を例に上げて説明したが、車両と道路との関係を表す他の物理量、すなわち車両のヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ に関しても同様である。

【0024】もちろん、画像処理によらずに検出した車速 $v_{sp}$ や操舵角 $\theta$ などの物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測すれば、その変化率予測結果には画像処理による不安定な白線検出結果の影響が含まれず、正確な変化率予測結果を得ることができる。

【0025】デジタルフィルターの特性を変える際には、車両と道路との関係を表す物理量、例えば上述した

$$x = (a + ie)(y - d) + b / (y - d) + c \quad \dots (1)$$

(1)式において、 $a \sim e$ は道路パラメーターであり、路面からのカメラの高さを一定とすると、それぞれの道路パラメーターは次のような道路および白線の形状または車両挙動を表す。すなわち、 $a$ は走行レーン内の自車両の横変位を、 $b$ は道路の曲率を、 $c$ は自車両(カメラの光軸)の道路に対するヨー角を、 $d$ は自車両(カメラの光軸)の道路に対するピッチ角を、 $e$ は道路のレーン

例では車両の横変位 $h$ の予測変化率 $dh/dt$ が大きいほど、可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を高周波数側に滑らかに広げ、逆に横変位 $h$ の予測変化率 $dh/dt$ が小さいほど、可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を低周波数側に滑らかに狭める。車両のヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ に関しても同様とする。

【0026】可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を滑らかに広げたり、滑らかに狭めたりするのは、物理量の変化率予測においてたとえ可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を急激に変えるような予測結果が出たとしても、デジタルフィルターの特性変化に制限を設けて特性変化を緩やかにし、フィルター処理後の物理量 $H$ 、 $\Phi$ 、 $R$ の急激な変化を避ける。

【0027】このように、画像処理により得られた横変位 $h$ 、ヨー角 $\phi$ 、道路曲率 $r$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化する際に、平滑化対象でない物理量に基づいて平滑化対象の物理量の変化率を予測し、予測変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を緩やかに変えるようにしたので、可変特性型デジタルフィルターの周波数特性が車両の走行状態に応じてリアルタイムに緩やかに変化し、画像処理に含まれる白線検出結果の上述した不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の走行状態において真値からの遅れが小さい車両の横変位 $H$ とヨー角 $\Phi$ 、および道路の曲率 $R$ を得ることができる。

【0028】《画像処理による車両と道路との関係を表す物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の演算》ここで、画像処理により道路白線を検出し、白線検出結果に基づいて車両と道路との関係を表す物理量、すなわち車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ 、および道路の曲率 $r$ を演算する方法について説明する。

【0029】図2は、画像処理装置2の車両と道路との関係を表す物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の演算処理を示すフローチャートである。画像処理装置2のマイクロコンピュータは、画像処理装置2に電源が投入されている間、繰り返しこの物理量演算処理プログラムを実行する。

【0030】ステップ1において、道路形状や車両挙動を表すパラメーター(以下、道路パラメーターと呼ぶ)を初期設定する。図3に示すような画面座標系 $xy$ 上において、道路パラメーターを用いて白線モデルを次式で表す。

【数1】

幅を、それぞれ表す。

【0031】また、初期状態では道路および白線の形状や車両挙動が不明であるから、各道路パラメーターには中央値に相当する値を初期値として設定する。すなわち、横変位 $a$ には走行レーン中央を設定し、道路曲率 $b$ には直線を設定し、走行レーンに対するヨー角 $c$ には0度を設定する。また、走行レーンに対するピッチ角 $d$ に

は停止状態の $\alpha$ 度を設定し、走行レーン幅 $e$ には道路構造令に示される高速道路の車線幅を設定する。

【0032】なお、車両の挙動をセンサーにより検出し、検出結果に基づいて道路パラメーターを初期設定してもよい。例えば初期状態においてステアリングが右または左に転舵されている場合には、操舵角に応じた曲率の道路を走行していると判断し、パラメーター $b$ に操舵角に応じた値を設定してもよい。同様に、初期状態においてピッチングが発生している場合には、パラメーター $d$ の初期値をピッチ角検出値だけずらすようにしてもよい。

【0033】ステップ2において、図4に示すように、白線候補点を検出するための小領域の初期設定を行う。初期状態においては、道路パラメーターに初期値を設定した白線モデルと、実際の画面上の道路白線との間には大きな開きがあると予想されるので、できる限り大きな領域を設定するのが望ましい。図4に示す例では、左右の白線に5個づつ、計10個の白線候補点検出領域を設定する。なお、前回の処理までに道路白線がすでに検出されている場合には、実際の道路白線と白線モデルとの差は小さいと考えられるので、図5に示すようになるべく小さい領域を設定する方が、白線以外のものを誤検出する可能性が低く、しかも処理速度を向上させることができる。

【0034】ステップ3において、道路画像上に白線候補点の検出領域を設定する。このとき、ステップ2で設定した白線候補点検出領域と、ステップ1で算出した道路パラメーターによる白線モデルとに基づいて、図6に示すように、前回の処理で求めた白線モデルが領域の中心になるように、白線候補点検出領域を設定する。図6に示す例では、左右の白線に5個づつ、計10個の白線候補点検出領域を設定する。なお、過去の白線モデルの変化の様子から、白線モデルの変化方向にオフセットした位置に白線候補点検出領域を設定するようにしてもよい。

【0035】ステップ4で、白線候補点検出領域において白線候補点の検出を行う。白線候補点の検出は、まず、入力画像にsobelフィルタなどを施して微分画像を生成する。次に、白線候補点検出領域の上底の一点と下底の一点とを結んでできるすべての線分に対し、図7に示すように、その線分上の画素の濃度が所定値以上の画素の数を計測する。さらに、すべての線分の中で、濃度が所定値以上の画素が最も多い線分を検出直線とし、その線分の始点と終点を白線候補点とする。

【0036】このとき、検出直線上にある濃度が所定値以上の画素の数が、検出領域の長さに対する所定の割合よりも少ない場合は、白線候補点が検出されなかったものとみなす。例えば、長さが15画素の検出領域であって、所定値以上の濃度の画素が $1/2$ 以上、すなわち8画素以上検出されれば白線候補点が検出されたとする検

出領域において、所定値以上の濃度の画素数が最も多い線分上における画素数が、7画素未満の場合はその検出領域において白線候補点が検出されなかったものとする。一方、9画素の場合は白線候補点が検出されたものとし、その線分の始点と終点を検出結果とする。

【0037】以上の処理をすべての白線候補点検出領域に対して実行する。このとき、白線候補点の検出の有無を判断するための、検出領域の長さに対する判定基準割合は、すべての領域に対して同一値としてもよいし、検出領域ごとに設定してもよい。また、上記濃度の所定値もすべての検出領域に対して同一としてもよいし、検出領域ごとに変えてもよい。

【0038】ステップ5では、すべての白線候補点検出領域で検出した白線候補点の点数が所定値以上かどうかを確認し、所定値より少なければ白線候補点検出領域内に道路白線が含まれていなかったと判断し、ステップ2へ戻って上述したように白線候補点検出領域を初期設定する。一方、白線候補点が所定値以上検出された場合にはステップ7へ進み、図8に示すように、検出した白線候補点と前回の処理で求めた白線モデル上の点とのずれ量を各点ごとに算出する。

【0039】続くステップ7で、各点のずれ量に基づいて道路パラメーターの変化量 $\Delta a \sim \Delta e$ を算出する。この変化量の算出方法は、例えば特開平8-5388号公報に示されるような方法を用いることができる。ステップ8では、算出した道路パラメーターの変化量 $\Delta a \sim \Delta e$ により道路パラメーター $a \sim e$ を補正する。例えば、(1)式に示す白線モデルの場合には、次式により道路パラメーター $a \sim e$ の補正を行う。

【数2】

$$\begin{aligned} a &= a + \Delta a, \\ b &= b + \Delta b, \\ c &= c + \Delta c, \\ d &= d + \Delta d, \\ e &= e + \Delta e \end{aligned} \quad \dots (2)$$

【0040】ステップ9において、道路パラメーターが正常かどうかを確認する。この実施の形態では、各パラメーターごとに予め設定された所定の範囲を超える場合は正常でないと判断する。道路パラメーターが正常な場合はステップ3へ戻り、上述した処理を繰り返す。一方、道路パラメーターが正常でない場合はステップ10へ進み、道路パラメーターの初期化を行ってステップ3へ戻り、上述した処理を繰り返す。

【0041】このようにして求めた二次元座標系における道路パラメーター、車両の横変位 $a$ とヨー角 $c$ および道路の曲率 $b$ を透視変換により三次元座標系へ変換すると、車両と道路との関係を表す物理量、すなわち車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ を求めることができる。

【数3】



$$\begin{aligned}
 h &= -hc \cdot a, \\
 \phi &= -c/f, \\
 r &= \frac{2 \cdot B}{\{1 + (2 \cdot B \cdot Z)^2\}^{1/2}}, \\
 B &= \frac{-b}{hc \cdot f^2} \quad \dots (3)
 \end{aligned}$$

(3)式において、 $hc$ はCCDカメラ1の道路面からの取り付け高さを、 $f$ はCCDカメラ1の焦点距離を、 $Z$ は注視点までの距離をそれぞれ表す。

【0042】《車両と道路との関係を表す物理量の変化率予測》次に、車両と道路との関係を表す物理量、車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ の変化率 $dh/dt$ 、 $d\phi/dt$ 、 $dr/dt$ を予測する方法について説明する。

【0043】上述したように、画像処理による演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の変化率 $dh/dt$ 、 $d\phi/dt$ 、 $dr/dt$ を、画像処理による演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の内の平滑化対象でない物理量や、画像処理によらずに検出した車速 $v_{sp}$ や操舵角 $\theta$ などの車両状態を表す物理量や、道路曲率 $RN$ などのナビゲーション装置3から得られる道路情報などに基づいて推定する。

【0044】例えば、道路の曲率 $r$ の変化率 $dr/dt$ は、ナビゲーション装置3から車両の現在地の道路曲率と進行方向道路上の次の地点の道路曲率との差を求め、その差と両地点間の距離とに基づいて予測することができる。また、白線に対する車両のヨー角 $\phi$ の変化率(ヨー

$$\Delta h = v_{sp} \cdot t_v \cdot \sin \phi$$

(4)式において、 $t_v$ は画像処理による物理量の更新周期であり、この実施の形態ではビデオレート(1/30[s])とする。

【0048】この車両の横変位 $h$ の平滑例では、物理量 $h$ の変化量 $\Delta h$ をその更新周期 $t_v$ で除したものが横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ であるから、横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ の代わりに横変位 $h$ の更新周期 $t_v$ における変化量 $\Delta h$ を用いる。つまり、物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の所定時間当たりの変化量 $\Delta h$ 、 $\Delta \phi$ 、 $\Delta r$ に応じて可変特性型デジ

$$Tc1 = \text{func1}(\Delta h)$$

(5)式において、 $\text{func1}()$ は、図10に示すような横変位変化量に対するフィルター特性を表す関数であり、横変位変化量 $\Delta h$ に応じたフィルター特性 $Tc1$ を返す。この関数 $\text{func1}()$ は、次の画像処理による物理量更新時点で許容される真値からの遅れを表す指標であり、レーンキープ制御装置や車線逸脱警報装置の仕様

$$\alpha = \text{func2}(Tc1)$$

(6)式において、 $\text{func2}()$ は、図11に示すようなデジタルフィルター特性 $Tc1$ に対する係数を表す関数であり、デジタルフィルター特性 $Tc1$ に応じた係数 $\alpha$ を返す。この関数 $\text{func2}()$ は予め設定される。可変特性型デジタルフィルターは、係数 $\alpha$ を用いて次式により表される。

【数7】

レート)  $d\phi/dt$ は、車速 $v_{sp}$ と操舵角 $\theta$ とに基づいて演算したヨー角変化率( $d\phi/dt$ )により、あるいはこれに曲率補正を施した値により、予測することができる。さらに、白線に対する車両の横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ は、ヨー角 $\phi$ および/または曲率 $r$ と車速 $v_{sp}$ とに基づいて予測することができる。これらの予測方法については、以下に述べる画像処理による演算結果の物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の平滑化例の中で詳述する。

【0045】《車両の横変位 $h$ の平滑化例》図9に示すフローチャートにより、車速 $v_{sp}$ と画像処理による演算結果のヨー角 $\phi$ とに基づいて、画像処理による演算結果の車両の横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターで平滑化する処理を説明する。

【0046】ステップ21において、上述した図2に示す物理量演算処理を行い、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を表す物理量の車両横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算する。

【0047】ステップ22で、平滑化対象の横変位 $h$ 以外の物理量であるヨー角 $\phi$ と、画像処理によらず車速検出装置4により検出した車速 $v_{sp}$ とに基づいて、次の画像処理による物理量の更新時点における横変位 $h$ の変化量 $\Delta h$ を次式により予測する。

【数4】

$$\dots (4)$$

ルフィルターの周波数特性を変えても、物理量 $h$ 、 $\phi$ 、 $r$ の変化率 $dh/dt$ 、 $d\phi/dt$ 、 $dr/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を変えた場合と同様な効果が得られる。

【0049】ステップ23では、横変位変化量 $\Delta h$ に応じた可変特性型デジタルフィルターの特性 $Tc1$ を次式により求める。

【数5】

$$\dots (5)$$

から予め決定されるものである。

【0050】ステップ24において、特性 $Tc1$ により可変特性型デジタルフィルターの係数 $\alpha$ を次式により求める。

【数6】

$$\dots (6)$$

$$B \cdot z / (z - \alpha),$$

$$(\beta = 1 - \alpha)$$

$$\dots (7)$$

(7)式において、 $z$ は時間進め演算子である。この可変特性型デジタルフィルターを画像処理により得られた横変位 $h$ に施し、画像処理により演算された車両横変位 $h$ を平滑化して横変位 $H$ を得る。

【数8】

$$H = (\beta \cdot z) / (z - \alpha) \cdot h \quad \dots (8)$$

【0051】このように、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を示す物理量の車両横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ を演算し、平滑化対象の車両横変位 $h$ 以外の物理量、すなわち車両ヨー角 $\phi$ と車速 $v_{sp}$ とに基づいて、画像処理による物理量更新周期における横変位 $h$ の変化量 $\Delta h$ を予測する。そして、所定時間当たりの横変位変化量 $\Delta h$ に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により求めた車両横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して横変位 $H$ を得る。これにより、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両の横変位 $H$ を得ることができる。

【0052】《車両のヨー角 $\phi$ の平滑化例》図12に示すフローチャートにより、車速 $v_{sp}$ 、操舵角 $\theta$ および画像処理による演算結果の道路曲率 $r$ に基づいて、画像処理による演算結果の車両のヨー角 $\phi$ を可変特性型デジタルフィルターで平滑化する処理を説明する。

【0053】ステップ31において、上述した図2に示す物理量演算処理を行い、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を表す物理量の車両ヨー角 $\phi$ と道路曲率 $r$ を演算する。続くステップ32で、車速検出装置4から車速 $v_{sp}$ を、操舵角制御装置7から操舵角指令値 $\theta_r$ をそれぞれ読み込む。

$$\phi_{temp} = \phi_{temp} + d\phi/dt$$

を繰り返し演算する。後者のヨー角 $\phi$ とヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ の演算実行時まで、上記(10)式による演算を $n$ 回実行したとすると、ヨー角変化率の平均

$$(d\phi/dt)_{av} = \phi_{temp} / t$$

として求められる。そして、次のヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ の演算に備えて $\phi_{temp}$ に0を設定し、リセットする。

$$(d\phi/dt)_{av} = (d\phi/dt)_{av} - \text{func3} \{ \text{sign}(r), \text{abs}(r), v_{sp} \} \dots (12)$$

(12)式の右辺第2項の $\text{func3} \{ \text{sign}(r), \text{abs}(r), v_{sp} \}$ は、図13に示すように、 $\text{sign}(r) = +1$ で左カーブ、 $\text{sign}(r) = -1$ で右カーブで表されるカーブの方向と、 $\text{abs}(r)$ で表される道路曲率の絶対値と、車速 $v_{sp}$ とを入力とし、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に対

$$Tc2 = \text{func4} \{ (d\phi/dt)_{av} \}$$

(13)式において、 $\text{func4}(\quad)$ は、図14に示すようなヨー角変化率の平均値に対するフィルター特性を表す関数であり、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に応じたフィルター特性 $Tc2$ を返す。この関数 $\text{func4}(\quad)$ は、次の画像処理による物理量更新時に許容される真値からの遅れを示す指標であり、レーンキープ制御装置

$$\alpha = \text{func2} \{ Tc2 \}$$

(14)式において、 $\text{func2}(\quad)$ は、例えば図11に示すようなデジタルフィルター特性 $Tc$ に対する係数を

【0054】ステップ33では、車速 $v_{sp}$ と操舵角指令値 $\theta_r$ とに基づいて次式によりヨー角 $\phi$ の変化率、すなわちヨーレート $d\phi/dt$ を予測する。

【数9】

$$\begin{bmatrix} mv_{sp} \cdot s + 2(K_f + K_r) & mv_{sp} + \frac{2}{v_{sp}} (L_f K_f - L_r K_r) \\ 2(L_f K_f - L_r K_r) & I_s + \frac{2}{v_{sp}} (L_f^2 K_f - L_r^2 K_r) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \beta(s) \\ \frac{d\phi(s)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2K_f \\ 2L_f K_f \end{bmatrix} \theta_r(s) \quad \dots (9)$$

(9)式において、 $m$ は車重を表し、 $K_f$ 、 $K_r$ はそれぞれ前輪タイヤと後輪タイヤのコーナリングパワーを表す。また、 $L_f$ 、 $L_r$ はそれぞれ前輪と後輪から重心までの距離を表し、 $\beta$ は車両の横滑り角度を表し、 $s$ はラプラス演算子を表す。

【0055】続くステップ34で、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を求める。この実施の形態では、画像処理による道路曲率 $r$ の演算と、車速 $v_{sp}$ および操舵角指令値 $\theta_r$ によるヨー角変化率(ヨーレート) $d\phi/dt$ の演算とを画像処理装置2で許容できる最高速度で実行するとともに、画像処理によるヨー角 $\phi$ の演算とヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ の演算とを画像処理による物理量の更新周期(ビデオレート)ごとに実行するものとする。そして、後者のヨー角 $\phi$ とヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ の演算が実行されるまで、

【数10】

$$\dots (10)$$

均値 $(d\phi/dt)_{av}$ は、

【数11】

$$\dots (11)$$

【0056】ステップ35において、道路曲率 $r$ によりヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を補正する。

【数12】

する補正値を返す関数である。

【0057】ステップ36では、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に応じた可変特性型デジタルフィルターの特性 $Tc2$ を次式により求める。

【数13】

$$\dots (13)$$

や車線逸脱警報装置の仕様から予め決定されるものである。

【0058】ステップ37において、特性 $Tc2$ により可変特性型デジタルフィルターの係数 $\alpha$ を次式により求める。

【数14】

$$\dots (14)$$

表す関数であり、デジタルフィルター特性 $Tc2$ に応じた係数 $\alpha$ を返す。可変特性型デジタルフィルターは係数 $\alpha$

を用いて次式により表される。

$$(\beta = 1 - \alpha)$$

(15)式において、 $z$ は時間進め演算子である。この可変特性型デジタルフィルタを画像処理により得られたヨー角 $\phi$ に施し、画像処理により演算された車両ヨー

$$\Phi = (\beta \cdot z) / (z - \alpha) \cdot \phi$$

【0059】このように、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を示す物理量の車両ヨー角 $\phi$ と道路曲率 $r$ を演算し、平滑対象の車両ヨー角 $\phi$ 以外の物理量、すなわち車速 $v_{sp}$ と操舵角指令 $\theta_r$ とに基づいてヨー角変化率(ヨーレート)の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を予測し、さらに道路曲率 $r$ によりヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を補正する。そして、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ に応じて可変特性型デジタルフィルタの周波数特性を決定し、画像処理により求めたヨー角 $\phi$ を可変特性型デジタルフィルタにより平滑化してヨー角 $\Phi$ を得る。これにより、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両のヨー角 $\Phi$ を検出することができる。

【0060】なお、上述したヨー角 $\phi$ の平滑化例において、ヨー角変化率 $d\phi/dt$ の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を求め、さらにその平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ を画像処理による演算結果の道路曲率 $r$ により補正する例を示したが、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ の代わりにヨー角変化率 $d\phi/dt$ を用いてもよいし、道路曲率 $r$ によるヨー角変化率 $d\phi/dt$ あるいはその平均値 $(d\phi/dt)_{av}$ の補正を省略してもよい。

【0061】《道路の曲率 $r$ の平滑化例》図15に示す

$$T_p = P / v_{sp},$$

$$Tc3 = \text{func5}(T_p, \text{abs}(RN1 - RN2))$$

(17)式において、 $\text{func5}()$ は、図16に示すような走行時間と曲率変化量に対するフィルタ特性を表す関数であり、 $P[m]$ 進むのに要する時間 $T_p$ と曲率変化量 $(RN1 - RN2)$ に応じたフィルタ特性 $Tc3$ を返す。この関数 $\text{func5}()$ は、次の画像処理による物理量更新時に許容される真値からの遅れを示す指標であり、レーンキープ制御装置や車線逸脱警報装置の仕様から予め決定されるものである。

【0065】なお、この曲率 $r$ の平滑化例では、ナビゲーション装置3から得た曲率変化量 $(RN1 - RN2)$ とその変化時間 $T_p$ とに応じて可変特性型デジタルフィルタ

$$\alpha = \text{func2}(Tc3)$$

(18)式において、 $\text{func2}()$ は、例えば図11に示すようなデジタルフィルタ特性 $Tc$ に対する係数を表す関数であり、デジタルフィルタ特性 $Tc3$ に応じた

$$(\beta = 1 - \alpha)$$

(19)式において、 $z$ は時間進め演算子である。この可変特性型デジタルフィルタを画像処理により得られた道路の曲率 $r$ に施し、画像処理により演算された道路

$$R = (\beta \cdot z) / (z - \alpha) \cdot r$$

$$\text{【数15】 } \beta \cdot z / (z - \alpha),$$

$$\dots (15)$$

角 $\phi$ を平滑化してヨー角 $\Phi$ を得る。

$$\text{【数16】}$$

$$\dots (16)$$

フローチャートにより、車速 $v_{sp}$ とナビゲーション装置3により検出した道路曲率 $RN$ とに基づいて、画像処理による演算結果の道路の曲率 $r$ を可変特性型デジタルフィルタで平滑化する処理を説明する。

【0062】ステップ41において、上述した図2に示す物理量演算処理を行い、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を示す物理量の道路曲率 $r$ を演算する。

【0063】続くステップ42で、ナビゲーション装置3により道路の曲率を検出する。具体的には、ナビゲーション装置3の道路地図データの中から現在地の道路曲率 $RN1$ と $P[m]$ 前方の道路曲率 $RN2$ とを検索する。ここで、 $P[m]$ は、現在地から、自転車走行レーンの進行方向において道路地図データに道路の曲率データが存在する地点までの距離である。ステップ42ではさらに、車速検出装置4から車速 $v_{sp}$ を読み込む。

【0064】ステップ43では、距離 $P$ 進むのに要する時間 $T_p$ とナビゲーション装置3から得た曲率の変化量 $(RN1 - RN2)$ とに応じた可変特性型デジタルフィルタの特性 $Tc3$ を次式により求める。

$$\text{【数17】}$$

$$\dots (17)$$

一の周波数特性を変更する例を示すが、曲率変化量 $(RN1 - RN2)$ をその変化時間 $T_p$ で除した値 $(RN1 - RN2) / T_p$ が曲率の変化率となるので、結局、上述した曲率 $r$ の平滑化例は、曲率 $r$ の変化率 $dr/dt$ に応じて可変特性型デジタルフィルタの周波数特性を変更するのと同様である。

【0066】ステップ44において、特性 $Tc3$ により可変特性型デジタルフィルタの係数 $\alpha$ を次式により求める。

$$\text{【数18】}$$

$$\dots (18)$$

係数 $\alpha$ を返す。可変特性型デジタルフィルタは係数 $\alpha$ を用いて次式により表される。

$$\text{【数19】 } \beta \cdot z / (z - \alpha),$$

$$\dots (19)$$

曲率 $r$ を平滑化して道路曲率 $R$ を得る。

$$\text{【数20】}$$

$$\dots (20)$$

【0067】このように、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を示す物理量の道路の曲率 $r$ を演算し、平滑対象の道路曲率 $r$ 以外の物理量、すなわち車速 $v_{sp}$ とナビゲーション装置3から得た道路曲率変化量 $(RN1-RN2)$ とに基づいて道路曲率の変化率を予測する。そして、道路曲率の変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により求めた道路曲率 $r$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して道路曲率 $R$ を得る。これにより、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない道路の曲率 $R$ を検出することができる。

【0068】《道路の曲率および車両のヨー角と横変位の平滑化例》道路曲率、車両のヨー角、横変位のそれぞれに対して周波数特性の異なる可変特性型デジタルフィルターを用いることによって、車両の走行状態に応じた平滑化を行うようにした実施例を説明する。なお、上述した図9、図12および図15に示す処理と同様な処理を行うステップに対しては同一のステップ番号を付して相違点を中心に説明する。

【0069】ステップ51において、上述した図2に示

$$(d\phi/dt)av = (d\phi/dt)av - \text{func3}\{\text{sign}(R), \text{abs}(R), v_{sp}\} \cdots (21)$$

(21)式の右辺第2項の $\text{func3}\{\text{sign}(R), \text{abs}(R), v_{sp}\}$ は、図13( $r$ を $R$ に読み替える)に示すように、 $\text{sign}(R)=+1$ で左カーブ、 $\text{sign}(R)=-1$ で右カーブで表されるカーブの方向と、 $\text{abs}(R)$ で表される道路曲率の絶対値と、車速 $v_{sp}$ とを入力とし、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)av$ に対する補正値を返す関数である。

【0072】ステップ36、37では、上述したようにヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)av$ に応じた可変特性型デ

$$\Delta h = v_{sp} \cdot t_v \cdot \sin\Phi$$

ステップ23、24では、上述したように画像処理による物理量更新周期 $t_v$ の間の横変位変化量 $\Delta h$ 、すなわち横変位変化率 $dh/dt (= \Delta h / t_v)$ に応じた可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により演算した横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターで平滑化して横変位 $H$ を得る。

【0074】このように、画像処理により道路の曲率 $r$ を演算し、車速 $v_{sp}$ とナビゲーション装置3からの道路曲率変化量 $(RN1-RN2)$ とに基づいて道路曲率の変化率を推定し、道路曲率の変化率に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により求めた道路曲率 $r$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して道路曲率 $R$ を得る。次に、車速 $v_{sp}$ と操舵角 $\theta$ とに基づいてヨー角 $\phi$ の変化率(ヨーレート) $d\phi/dt$ を予測し、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)av$ を演算する。そして、平滑化した道路曲率 $R$ を用いてヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)av$ を補正し、ヨー角変化率の平均値

す物理量演算処理を行い、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を表す物理量の車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ 、および道路の曲率 $r$ を演算する。

【0070】ステップ52では、車速検出装置4により車速 $v_{sp}$ を検出し、操舵角検出装置5により操舵角 $\theta$ を検出し、ナビゲーション装置3により現在地と距離 $P$ 前方の道路の曲率 $RN1$ 、 $RN2$ を検出する。ステップ43で、上述したように道路曲率の変化率 $(RN1-RN2)/T_p$ に応じて画像処理により演算した道路曲率 $r$ を平滑化するための可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、続くステップ44では、上述したように画像処理により求めた道路曲率 $r$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して道路曲率 $R$ を得る。

【0071】ステップ33、34では、上述したように車速 $v_{sp}$ と操舵角 $\theta$ とに基づいてヨー角 $\phi$ の変化率(ヨーレート) $d\phi/dt$ を予測し、ヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)av$ を演算する。ステップ35'において、ステップ44で平滑化された道路曲率 $R$ を用いて上述した手順でヨー角変化率の平均値 $(d\phi/dt)av$ を補正する。

【数21】

デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により演算したヨー角 $\phi$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化してヨー角 $\Phi$ を得る。

【0073】ステップ22'において、上記ステップ37で平滑化したヨー角 $\Phi$ と、車速検出装置4により検出した車速 $v_{sp}$ とに基づいて、上述した手順で次の画像処理による物理量更新時点における横変位 $h$ の変化量 $\Delta h$ を次式により予測する。

【数22】

$$\cdots (22)$$

$(d\phi/dt)av$ に応じた可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により演算したヨー角 $\phi$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化してヨー角 $\Phi$ を得る。さらに、平滑化したヨー角 $\Phi$ と車速 $v_{sp}$ とに基づいて画像処理による物理量更新周期における横変位 $h$ の変化率 $dh/dt$ を予測し、横変位変化率 $dh/dt$ に応じた可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により演算した横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターで平滑化して横変位 $H$ を得る。このように、道路曲率、車両のヨー角、横変位のそれぞれに対して周波数特性の異なる可変特性型デジタルフィルターを用いることによって、車両の走行状態に応じた平滑化を行うことができ、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが少ない車両と道路との関係を表す物理量 $H$ 、 $\Phi$ 、 $R$ を得ることができる。

【0075】《横変位平滑化の変形例》上述した車両の

横変位  $h$  の平滑化例では、画像処理により車両横変位  $h$  とヨー角  $\phi$  を演算し、平滑化対象外のヨー角  $\phi$  と車速  $v_{sp}$  とに基づいて平滑化対象の横変位  $h$  の変化率を求め、横変位変化率に応じた可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定し、画像処理により演算した横変位  $h$  を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して横変位  $H$  を得る例を示した。この変形例では、車両の状態を表す物理量の車速  $v_{sp}$  を用いず、画像処理により算出した車両のヨー角  $\phi$  だけを用いて車両の横変位  $h$  の変化率を予測する。

【0076】なお、この横変位平滑化の変形例は、所定車速以上で走行中のとき、または高速道路を走行中のときのみ、レーンキープ制御あるいは車線逸脱警報制御を

$$\Phi = 0.52z / (z - 0.5) \cdot \phi \quad \dots (23)$$

(23) 式において、 $z$  は時間進め演算子である。なお、上述した図12に示す処理により平滑化したヨー角  $\phi$  を用いてもよい。

【0080】レーンキープ制御装置が動作可能な車速下限値と、画像処理による物理量の更新周期とは既知であ

$$\Delta h = \text{func6}(\Phi)$$

ここで、 $\text{func6}()$  は、図20に示すようなヨー角に対する横変位変化量を表す関数であり、主にレーンキープ制御装置などが動作できる車速下限値により設定され、ヨー角  $\Phi$  に応じた横変位変化量  $\Delta h$  を返す。

【0081】横変位  $h$  の変化量  $\Delta h$  をその更新周期（ビデオレート） $t_v$  で除したものが横変位  $h$  の変化率  $dh/dt$  であるから、この車両の横変位  $h$  の平滑化例では、横

$$Tc4 = \text{func1}(\Delta h)$$

(25) 式において、 $\text{func1}()$  は、例えば図10に示すような横変位変化量に対するフィルター特性を表す関数であり、横変位変化量  $\Delta h$  に応じたフィルター特性  $Tc4$  を返す。この関数  $\text{func1}()$  は、次の画像処理による物理量更新時点で許容される真値からの遅れを表す指標であり、レーンキープ制御装置や車線逸脱警報装

$$\alpha = \text{func2}(Tc4)$$

(26) 式において、 $\text{func2}()$  は、例えば図11に示すようなデジタルフィルター特性  $Tc$  に対する係数を表す関数であり、デジタルフィルター特性  $Tc4$  に応じた

$$(\beta = 1 - \alpha)$$

(27) 式において、 $z$  は時間進め演算子である。この可変特性型デジタルフィルターを画像処理により得られた横変位  $h$  に施し、画像処理により演算された車両横変

$$H = (\beta \cdot z) / (z - \alpha) \cdot h$$

【0084】このように、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を示す物理量の車両横変位  $h$  とヨー角  $\phi$  を演算し、車両ヨー角  $\phi$  のみに基づいて画像処理による物理量更新周期における横変位  $h$  の変化量  $\Delta h$  を予測する。そして、所定時間当たりの横変位変化量  $\Delta h$  に応じて可変特性型デジタルフィルターの周波数特性を決定

行う装置に適用することができる。

【0077】図19に示すフローチャートにより、画像処理による演算結果のヨー角  $\phi$  のみを用いて画像処理による演算結果の横変位  $h$  を可変特性型デジタルフィルターで平滑化する処理を説明する。

【0078】ステップ61において、上述した図2に示す物理量演算処理を行い、撮像した画像から走行レーンにおける白線の認識を行い、白線認識結果に基づいて車両と道路との関係を表す物理量の横変位  $h$  とヨー角  $\phi$  を演算する。

【0079】ステップ62では、画像処理による演算結果のヨー角  $\phi$  を次式により平滑化する。

【数23】

るから、(23) 式により算出したヨー角  $\phi$  のみに基づいて、次の画像処理による物理量更新時点の横変位変化量  $\Delta h$  を次式により予測する。

【数24】

$$\dots (24)$$

変位  $h$  の変化率  $dh/dt$  の代わりに横変位  $h$  の更新周期  $t_v$  における変化量  $\Delta h$  を用いる。

【0082】ステップ63では、横変位変化量  $\Delta h$  に応じた可変特性型デジタルフィルターの特性  $Tc4$  を次式により求める。

【数25】

$$\dots (25)$$

置の仕様から予め決定されるものである。

【0083】ステップ64において、特性  $Tc4$  により可変特性型デジタルフィルターの係数  $\alpha$  を次式により求める。

【数26】

$$\dots (26)$$

係数  $\alpha$  を返す。可変特性型デジタルフィルターは、係数  $\alpha$  を用いて次式により表される。

$$\text{【数27】 } \beta \cdot z / (z - \alpha),$$

$$\dots (27)$$

位  $h$  を平滑化して横変位  $H$  を得る。

【数28】

$$\dots (28)$$

し、画像処理により求めた車両横変位  $h$  を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化して横変位  $H$  を得る。これにより、画像処理に含まれる白線検出結果の不安定要因を最少限に抑制しながら、実際の値からの遅れが小さい車両の横変位  $H$  を得ることができる。

【0085】以上のようにして求めた車両と道路との関係を表す物理量の車両の横変位  $H$  とヨー角  $\phi$  および道路

の曲率 $R$ をレーンキープ制御に用いることによって、白線自体が不鮮明または欠落していたり、また車両の振動、道路の凹凸やアップダウンなどにより白線が検出できなかったり、あるいは撮像画像にノイズが混入しても、変動のない安定な車両の横変位 $H$ とヨー角 $\phi$ および道路曲率 $R$ が得られるから、走行レーン内を正確に走行させることができる。

【0086】また、以上のようにして求めた車両と道路との関係を表す物理量の車両の横変位 $H$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $R$ を車線逸脱警報装置に用いることによって、画像処理による白線検出結果に上記のような不安定要因があっても、変動のない安定な車両の横変位 $H$ とヨー角 $\phi$ および道路曲率 $R$ が得られるから、車両が走行レーンを逸脱したとき、あるいは逸脱するおそれがあるときに、速やかにそれを検知して警報することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 一実施の形態の構成を示す図である。

【図2】 車両と道路との関係を表す物理量の車両の横変位 $h$ とヨー角 $\phi$ および道路の曲率 $r$ の演算処理を示すフローチャートである。

【図3】 車両前方画像の画面座標系 $x, y$ における白線モデルを表す図である。

【図4】 車両前方画像から白線候補点を検出するための小領域を示す図である。

【図5】 車両前方画像から白線候補点を検出するための小領域を示す図である。

【図6】 白線候補点検出領域の設定方法を説明するための図である。

【図7】 白線候補点の検出方法を説明するための図である。

【図8】 今回検出した白線候補点と前回求めた白線モデル上の点とのずれを示す図である。

【図9】 画像処理による演算結果の車両横変位 $h$ を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化する処理を示すフローチャートである。

【図10】 横変位変化量 $\Delta h$ に対する戻り値を与える

関数図である。

【図11】 可変特性型デジタルフィルターの特性 $T_c$ に対する戻り値を与える関数図である。

【図12】 画像処理による演算結果の車両ヨー角を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化する処理を示すフローチャートである。

【図13】 道路曲率に対するヨー角変化率の平均値を補正量を示す図である。

【図14】 ヨー角変化率の平均値に対する戻り値を与える関数図である。

【図15】 画像処理による演算結果の道路の曲率を可変特性型デジタルフィルターにより平滑化する処理を示すフローチャートである。

【図16】 走行時間と曲率変化量に対する戻り値を与える関数図である。

【図17】 道路曲率、車両のヨー角、横変位のそれぞれに対して周波数特性の異なる可変特性型デジタルフィルターを用いることにより、車両の走行状態に応じた平滑化を行う処理を示すフローチャートである。

【図18】 図17に続く、道路曲率、車両のヨー角、横変位のそれぞれに対して周波数特性の異なる可変特性型デジタルフィルターを用いることにより、車両の走行状態に応じた平滑化を行う処理を示すフローチャートである。

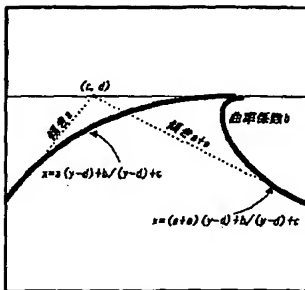
【図19】 横変位平滑化の変形例の処理を示すフローチャートである。

【図20】 平滑化後のヨー角 $\phi$ に対する戻り値を与える関数図である。

【符号の説明】

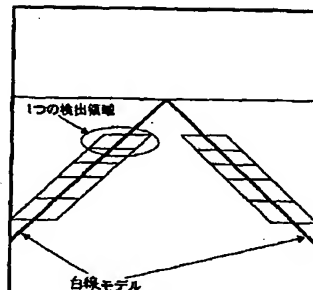
- 1 CCDカメラ
- 2 画像処理装置
- 3 ナビゲーション装置
- 4 車速検出装置
- 5 操舵角検出装置
- 6 操舵アクチュエーター
- 7 操舵角制御装置

【図3】



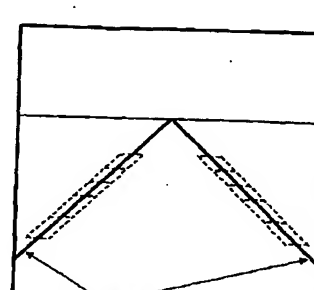
【図3】

【図4】



【図4】

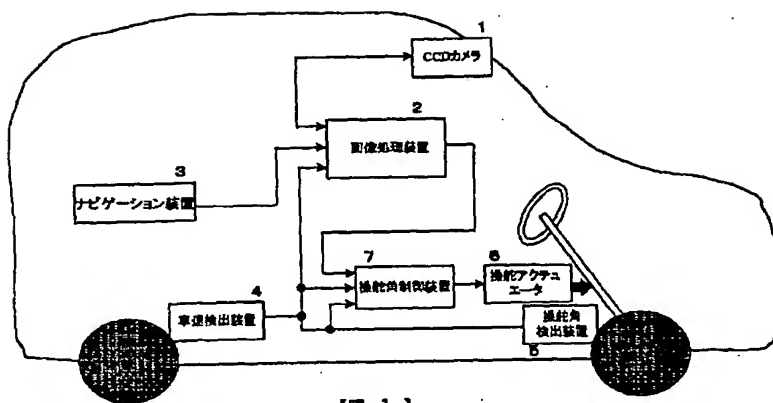
【図5】



【図5】

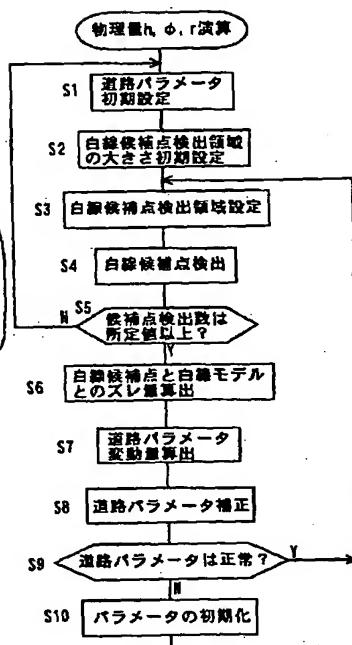


【図1】



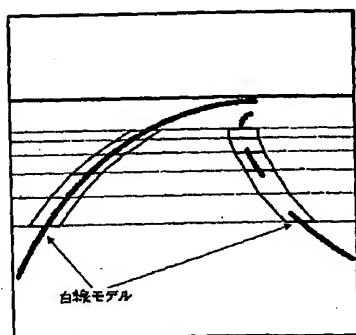
【図1】

【図2】



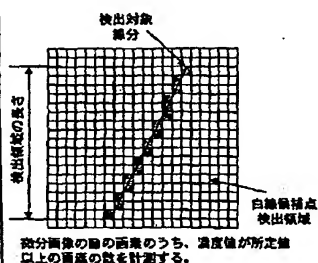
【図2】

【図6】



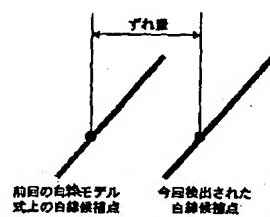
【図6】

【図7】



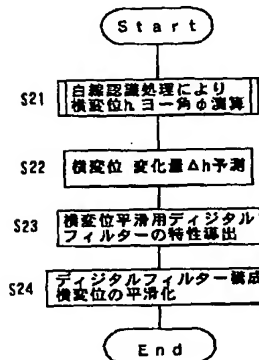
【図7】

【図8】



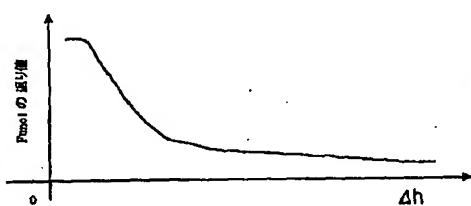
【図8】

【図9】



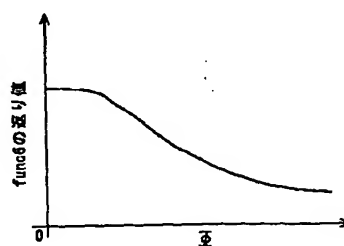
【図9】

【図10】



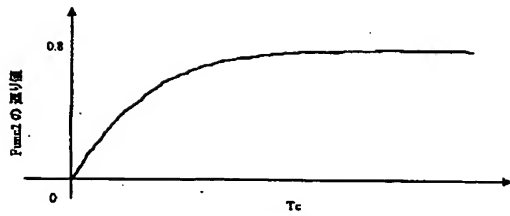
【図10】

【図20】



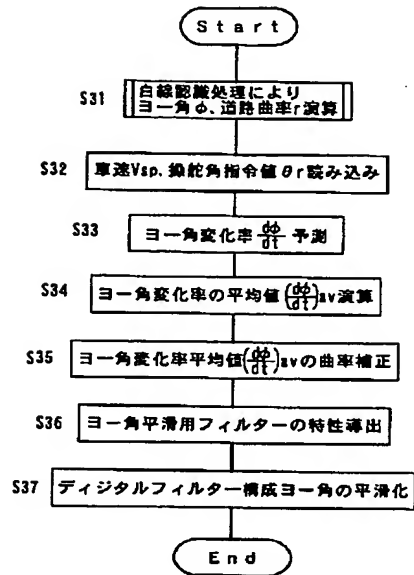
【図20】

【図11】



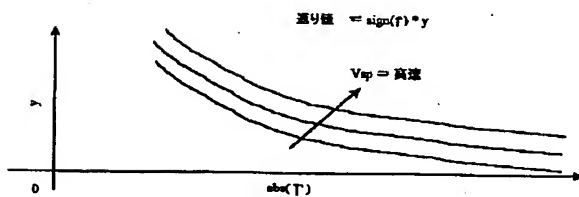
【図11】

【図12】



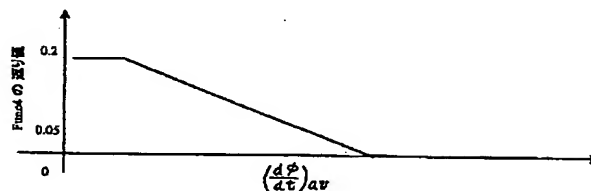
【図12】

【図13】



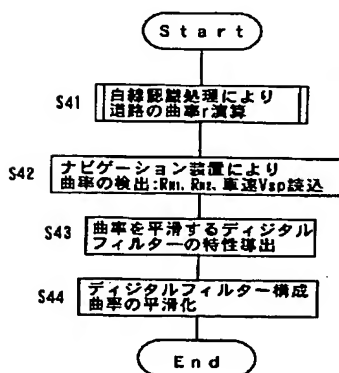
【図13】

【図14】



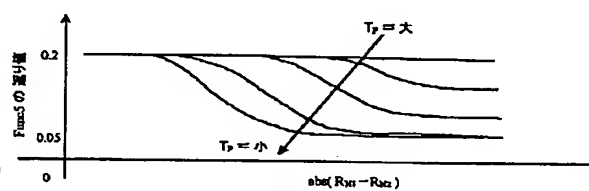
【図14】

【図15】



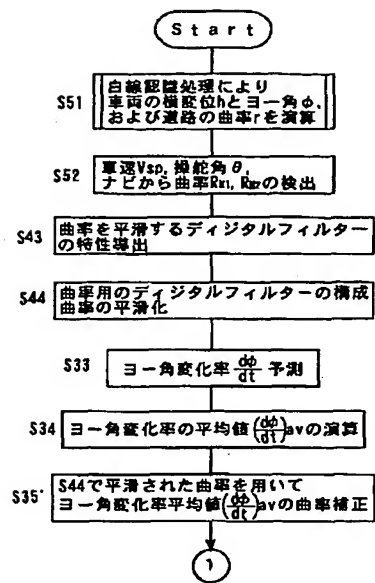
【図15】

【図16】



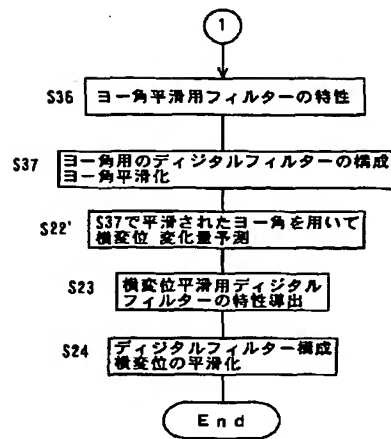
【図16】

【図17】



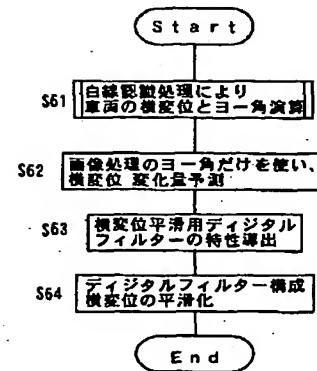
【図17】

【図18】



【図18】

【図19】



【図19】

フロントページの続き

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	キーワード (参考)
B 6 0 R 21/00	6 2 4	B 6 0 R 21/00	6 2 4 G
	6 2 6		6 2 6 A
	6 2 8		6 2 8 C
G 0 6 T 1/00	3 3 0	G 0 6 T 1/00	3 3 0 A
// G 0 8 G 1/16		G 0 8 G 1/16	A
(72)発明者 木村 健	Fターム(参考) 5B057 AA16 BA02 CA08 CA12 CA16		
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内	CE05 CE06 DA07 DB02 DB09		
	DC08 DC30 DC36		
(72)発明者 豊田 博充	5H180 AA01 CC04 LL09 LL15		
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産自動車株式会社内	5L096 AA06 BA04 CA02 CA14 DA02		
	EA06 FA03 FA32 FA67 FA68		
	GA55 HA04		